4 / 抗病品種與根砧

蘇俊峯、陳繹年、康樂、陳以錚

病原微生物因對寄主植物致病能力的差異，讓寄主植物可對病原微生物表現耐病性或抗病性。直接種植抗病品種達到病害防治的目的，可以說是最有效且安全的防治策略。但是抗病品種的育成，往往需耗費相當的人力與時間，因此在抗病品種的研究與應用上，目前多以大宗作物，如水稻、番茄、香蕉等為主，有較多的品種可供選擇利用，其他作物則因人力及研究投入較少，多年來僅有少數抗病品種被育成。嫁接乃是取一植物具生長點的地上部位當接穗，以另一植物具地下部根系當根砧，而成新單一植株個體。若根砧部位能對病原微生物表現耐/抗病性，則該嫁接植株就能對病原微生物表現耐/抗病性。目前蔬菜作物利用嫁接表現植物抗/耐病性者，主要在防治由尖鐮胞病菌所引起作物萎凋病，包括西瓜蔓割病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*)、苦瓜萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *momordicae*)、絲瓜萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *luffae*)、番茄萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*) 與番茄根冠腐病 (*F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*) 等。而嫁接技術尚有應用於洋香瓜黑點根腐病(*Monosporascus cannonballus*)、番茄青枯病 (*Ralstonia solanacearum*)、百香果頸腐病 (*Nectria haematococca*)、疫病(*Phytophthora nicotianae*、*P. palmivora* 與 *P. citrophthora*) 與根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.) 等病害的防治上。

水稻抗病蟲品種的應用

稻田高密度、集約栽培的溫暖潮濕環境，提供病菌與害蟲等有害生物合適的發生條件與屏蔽空間。在食物充足、無外來生物干擾情況下，害物族群得以快速發展，最終導致稻田大面積被害 (圖 1)。施用化學藥劑防治雖為大面積水稻病蟲害管理提供快速、有效手段，但也對環境生態造成短時間內難以察覺的潛隱性傷害。種植抗病品種被認為是解決水稻病蟲害問題最經濟、環保且有效的方法，農友大幅降低化學農藥防治頻率下，除能減少成本支出、提供更安全高品質農產品外，也為永續的生態，佈建穩定基礎。

臺灣水稻育種工作始於日據時期 (1899 年) 日本總督府的有計畫引種，光復後積極透過雜交育種方式改良品種特性使之適於臺灣氣候環境，

圖 1. 大面積單一品種栽培下，因秧苗帶病引起的稻熱病嚴重危害。

育種目標以產量與品質為主。1950 年代起水稻品種的生物逆境抗性逐漸受到重視，隨後在農復會支持下針對稻熱病、白葉枯病、紋枯病、縞葉枯病及褐飛蝨等病蟲害分別設立檢定圃，統一進行抗性檢定工作。1975 年後部份檢定工作因故停辦，目前僅剩稻熱病 (農試所嘉義分所與台東農改場)、白葉枯病 (台中農改場)、紋枯病 (台南農改場) 與褐飛蝨 (農試所嘉義分所) 仍有統一病圃進行抗性檢定工作。20 世紀晚期國內雖育成不少抗稻熱病品種，但因引用抗源單一 (多出自「Reshiko」品種)，加上病菌病原型變遷快速，使得品種抗性常在釋出短時間內就失去效力，如「台東 29 號」 (1979 年釋出)、「台稉糯 1 號」 (1990 年)、「台稉 8 號」 (1992 年)、「桃園 1 號」 (2001 年)、「台東 30 號」 (2002 年) 等。雖然，近年農業試驗所以 2014–2020 年田間收集之稻熱病單孢菌株進行水稻抗性檢定結果顯示，「台稉糯 1 號」與「台東 30 號」對逾 1,500 株菌株表現穩定高度抗性，但造成品種抗性如此大幅度的轉變，推測應與這兩個品種目前在田間種植面積占比不大、導致致病菌群縮小有關，仍不宜輕忽。目前在各農業試驗單位努力下，仍陸續有抗稻熱病品推陳出新，如「台農 84 號」、「台農 79 號」、「台東 33 號」、「高雄 146 號」等，惟各品種的抗性成因都未能進一步說明釐清，限縮了這些材料未來的應用空間與價值，殊為可惜。白葉枯病部分，雖於 1976−2008 年間透過病圃檢定方式篩選出 14 個抗病品種，但除「台稉 6 號」外，其餘品種均是在 1987 年以前利用 604 單一菌株選育出來之結果，無法真正反應品種之抗性表現。褐飛蝨方面，自 1972 年國內第一個抗褐飛蝨品種「嘉農秈 11 號」命名推廣至 2008 年止，先後育成 31 個抗蟲品種，其中以「台農 69 號」的抗蟲穩定性較佳，惟因新的生物小種 (virulent biotype) 不斷產生，使品種對害蟲失去抵抗效力。

臺灣引進許多日本水稻種原在育種上廣泛運用，除使台、日水稻品種遺傳背景高度相似外，臺灣品種間的親緣關係亦相當接近，造成臺灣

水稻品種間遺傳歧異度不大的原因，推測可能與育種運用的種原重疊性高有關。在大面積種植而品種多樣性又不足的情況下，一旦具病原性的害物族群建立，就可能在環境適宜下爆發全面破壞性的危害。為避免上述情況發生，除擴大引種來源、增加種原遺傳歧異度外，更應進一步了解國內各水稻品種抗性成因組成，未來才有辦法針對不足之處，積極利用明確已知的有效抗病基因進行抗性改良。目前水稻抗性基因研究以稻熱病 (*Pyricularia oryzae*)、白葉枯病 (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) 及褐飛蝨 (BPH，*Nilaparvata lugens*) 研究成果較為豐碩，其餘如紋枯病、葉鞘腐敗病及病毒病害等，都尚未找到明確有效抗源可供使用。迄今，已鑑定出的抗稻熱病基因或基因座超過 100 個，抗白葉枯病基因座逾 40 個，抗褐飛蝨基因至少 38 個。其中，抗稻熱病基因以 *Piz* locus 幾個等位基因 (*Pi2*、*Pigm*、*Pi40*、*Pi9*、*Piz*、*Pizt*) 對多數地區的稻熱病菌株具有良好抗性表現；抗白葉枯病基因以 *xa5*、*Xa7*、*xa13*、*Xa21*、*Xa23* 抗幅較廣；抗褐飛蝨基因以 *Bph3*、*bph4*、*bph8*、*Bph9* 可以抗 4 種生物小種的效果最佳。

2012 年農委會藉與國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 重啟合作之契機，透過官方管道將稻熱病判別品種「LTH MLs」與白葉枯病菌判別品種「IRBB lines」正式引進臺灣，一方面用以分析國內菌群致病型，另一方面作為抗病基因明確的種原材料。根據農業試驗所分析 2014–2020 年稻熱病菌株病原性結果顯示，抗稻熱病基因 *Pi9*、*Pita2*、*Pi11* 及「台中秈 10 號」、「台東 30 號」、「台粳糯 1 號」、「台農 84 號」等對近年國內稻熱病菌具有較穩定抗病表現，其中「台粳糯 1 號」與「台農 84 號」的抗性推測可能與抗病基因 *Pita2* 有關。而抗白葉枯病基因則以 *xa5*、*Xa7*、*Xa21* 對臺灣菌群抗性表現較佳。現階段國內農業試驗單位與學校單位，業已將分子輔助育種技術導入水稻抗性品種開發，可有效縮短品種育成所需時間 1–2 年，大幅提昇新抗

性品種的開發速度。抗稻熱病部份，臺南區農業改良場以「台南 11 號」為背景，已選獲 *Pik*、*Pikh*、*Pikm*、*Pib* 及 *Pita* 等 5 個單基因的近同源系；高雄區農業改良場以「高雄 145 號」為背景，已建立 *Pita2*、*Pikh*、*Pi9*、*Pi7*、*Piz5* 等 5 種雜交組合。抗白葉枯病部份，中興大學在保有「台稉 9 號」與「台南 11 號」品種原有米質優點下，利用 *xa5*、*Xa7*、*xa13* 及 *Xa21* 組合堆疊育成具白葉枯病抗性的「興大 9 號」與「興大 11 號」。褐飛蝨抗性方面，農業試驗所與中興大學合作將新穎抗蟲基因 *Bph31(t)* 導入「台農 71 號」進行抗性改良，並進一步以「TNG71-*Bph31(t)*」為背景，堆疊 *Bph17*、*bph2*、*Bph3*、*Bph12*、*Bph15* 等基因強化品種抗性。目前，國外也已有應用分子標誌堆疊不同病、蟲害抗性基因進行品種抗性改良的案例。隨著有害生物病原型與生物小種的不斷增加，除積極尋找新的抗性基因外，透過水平抗性基因運用、多基因堆疊及多品系混植、輪種等方式，都有助於減緩病菌與害蟲的演化速度、延長抗性材料的使用壽命。

蔬菜抗病品種的應用

一、番茄

番茄的抗病基因研究較為明確，目前市售多數品種都已對其適種期間的不同病害，具有不同程度的抗病性 (圖 2)。小果番茄較為耐熱的品種，如「台南亞蔬 19 號」、「花蓮亞蔬 21 號」、「種苗亞蔬 22 號」、「小明」、「小女」、「528」及 「夏越 3 號」等，對番茄黃化捲葉病毒 (*Tomato yellow leaf curl virus*)、萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*) 及番茄嵌紋病毒 (*Tomato mosaic virus*) 都具有不同程度的抗病性。牛番茄如「993」、「994」、「TMB-688」、「鐵娘」及「紅番」等，除了都具備對番茄黃化捲葉病毒的抗病性之外，不同品系還分別兼具對萎凋

病、番茄嵌紋病毒、根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.)或葉霉病 (*Fulvia fulvum*) 等，具有不同程度的多重抗病性。黑柿番茄如「桃園亞蔬 20 號」、「綠霸」及「美惠」等，雖然對病害的抗病性皆略低於牛番茄品種，但是其仍具有對黃化捲葉病毒病毒、萎凋病、番茄嵌紋病毒或青枯病 (*Ralstonia solanacearum*) 的抗性。番茄的土壤傳播性病害可應用嫁接根砧來克服，目前對抗青枯病使用最廣、防病效果最佳的番茄根砧品系是「Hawaii7996」，同時其對萎凋病具有中等程度的抗性。

圖 2. 番茄黃化捲葉病毒抗病 (A)、感病 (B) 品種在田間發病情形。

二、馬鈴薯

抗病品種有「台農 1 號」抗馬鈴薯 Y 病毒 (*Potato virus Y*)，「台農 2 號」對病毒病具有耐病性。

三、茄子

抗病品種有「高雄 2 號」對青枯病具中等抗病性。茄子「EG203」、「EG219」及「鳳試雜交 3 號」對於青枯病、萎凋病、根瘤線蟲及淹水具有良好抗性，並且對於一般的番茄品系的嫁接親和性良好，常被用為番茄的嫁接根砧使用。

四、番椒

「種苗亞蔬 2 號」，對胡瓜嵌紋病毒病、馬鈴薯 Y 病毒病、辣椒脈斑駁病毒病、細菌性青枯病及疫病具有不同程度的抗性。「種苗亞蔬 4 號」表現對馬鈴薯 Y 病毒病與細菌性萎凋病的抗病性，並且在田間對炭疽病表現高耐病性。彩椒「興亞五號」則可以抗番茄嵌紋病毒，並且對疫病 *Phytophthora capsici* pathotype 1 表現耐病性。

五、冬瓜

「台農 2 號」對木瓜輪點病毒－西瓜系統、胡瓜綠斑嵌紋病毒、西瓜銀斑紋病毒、瓜類蚜媒黃化病毒、胡瓜嵌紋病毒及矮南瓜黃化嵌紋病毒等，具不同程度的抗/耐病性。

六、胡瓜

農業試驗所的胡瓜「台農 1 號」對露菌病、白粉病、胡瓜嵌紋病毒、木瓜輪點病毒－西瓜系統，以及矮南瓜黃化嵌紋病毒等具有不同程度抗/耐病性。

七、絲瓜

圓筒絲瓜「台農 1 號」可以抗甜瓜脈綠嵌紋病毒、木瓜輪點病毒－

西瓜系統，以及矮南瓜黃化嵌紋病毒。而商業根砧用品種「雙依」則可用於嫁接苦瓜對抗萎凋病。

八、西瓜

「台農 6 號–紅蜜」可以抗蔓割病。

九、南瓜

中國南瓜「花蓮亞蔬 2 號」可以抗矮南瓜黃化嵌紋病毒病與胡瓜嵌紋病毒病，夏南瓜「台南 1 號」、「台南 4 號」可以抗白粉病。商業根砧用品種「壯士」可用於西瓜、冬瓜及洋香瓜的嫁接上，可以防治鐮胞菌病害 (圖 3)。

圖 3. 商業嫁接育苗場進行西瓜嫁接於南瓜根砧操作情形。

十、洋香瓜

「台農 2 號」、「台南 11 號」及「高雄 1 號」可用於抗白粉病 race 1。商業品種「秋華 2 號」則對蔓割病及白粉病具有抗病性。

十一、豇豆

農業試驗所「農試 577 號」的豇豆品系，在黑眼豇豆嵌紋病毒與胡瓜嵌紋病毒的防治上，有表現抗病性。

十二、蘿蔔

農業試驗的蘿蔔「裂葉長根」品系，可以抗蕪菁嵌紋病毒 (*Turnip mosaic virus*, TuMV)。

十三、莧菜

「台農 1、2 號」對白銹病表現抗病性。

香蕉抗病品種的應用

香蕉 (banana) 為芭蕉科 (Musaceae) 芭蕉屬 (Musa)，原產於東南亞與印度地區，經馴化已可於超過 100 個國家或地區栽培。芭蕉科作物用途廣泛可鮮食或烹調，部分國家或地區有做為主要熱量來源，某些品種之纖維又可作為工業用，少數品種則具有觀賞價值。臺灣地處亞熱帶，適合栽種香蕉，現主要栽培於中彰投、嘉南平原及高屏地區等地，普遍種植具有濃郁香味的華蕉 (Cavendish) 類的「北蕉」系統品種，2018 年臺灣栽培面積 16,639 公頃，年產量 35 萬公噸。

香蕉栽培過程中常受到多種病原微生物的干擾，其中以尖鐮胞菌菌古巴分化型 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) 引起之香蕉黃葉病

(*Fusarium* wilt) 或稱巴拿馬病最為重要。罹病植株在初期呈現下位葉黃化萎凋或生長遲緩，隨之假莖及外圍葉鞘縱裂，後期超過半數以上葉片黃化，嚴重時植株死亡。假莖剖面可見維管束褐化。黃葉病為典型的土壤傳播性病害，難以化學農藥防除。20 世紀初期，黃葉病在拉丁美洲肆虐，造成主要香蕉品種 「大米七」 (Gros Michel, AAA)，超過 10 萬英畝蕉園受到感染。直到 1960 年代，對香蕉黃葉病菌具高抗性之「華蕉」(Cavendish, AAA) 成功推廣後，香蕉黃葉病才被控制下來。抗病品種選育，遂成為香蕉產業推廣上的重要課題。

1967 年，臺灣高屏地區屬「華蕉」系統之「北蕉」首次發生黃葉病疫情。十年之間，發病面積由 0.2 公頃提高到 1,200 公頃。病原菌經鑑定為黃葉病菌之新生理小種，命名為第 4 生理小種 (race 4)。後續，race 4 逐漸在馬來西亞、菲律賓、阿曼、埃及、中國、莫三比克、澳洲、印度、越南、柬埔寨、寮國、緬甸等地出現，光在印尼，農民每年損失約莫超過 1.2 億美金，抗 race 4 香蕉品種之選育工作刻不容緩。然而包含「華蕉」在內的主要香蕉品種皆屬三倍體，具不稔性，無法以傳統雜交方式進行育種，必須採用體細胞變異篩選的方式進行。1988 年由臺灣香蕉研究所 (蕉研所) 人工病圃中，密植華蕉組織培養苗，並從中篩選出未得病之蕉株，再經由數次的組織培養複選後，選出抗病性可穩定遺傳的抗黃葉病菌 race 4 之華蕉變異品系 (圖 4)。後續，再經擴大田間試驗證實其抗病性，於 1990 年命名為「台蕉 1 號」，此為全球首個抗黃葉病菌 race 4 之華蕉變異品種。利用病圃密植組織培養苗，以篩選體細胞變異株的方式，又成功選出「GCTCV-105」、「119」、「217」及「218」等選系。陸續依此為基礎，再選育出「台蕉 3 號」(選自「台蕉 1 號」)、「寶島蕉」 (即「GCTCV-218」)、「台蕉 5 號」 (選自「台蕉 3 號」)、「台蕉 7 號」 (選自「GCTCV-105」) 及「台蕉 8 號」 (選自「寶島蕉」) 等不同命名品種。其中「台蕉 5 號」風味廣受臺灣消費者喜愛，而「台蕉 7

號」則為抗病性最強品種。

2000–2014 年間，蕉研所與國際生物多樣性組織亞太分部 (Banana Asia Pacific Network) 合作，在菲律賓香蕉主產區岷達納峨島達沃地區測試「GCTCV-119」、「GCTCV-105」品系及「寶島蕉」品種，等均顯示良好之抗病特性。2015 年「寶島蕉」等種苗也於莫三比克北部 Nampula 蕉區成功對抗黃葉病的侵襲。在黃葉病 race4 陸續於澳洲、拉丁美洲出現後，抗黃葉病華蕉變異株的篩選，已成全球香蕉育種最重要的工作。

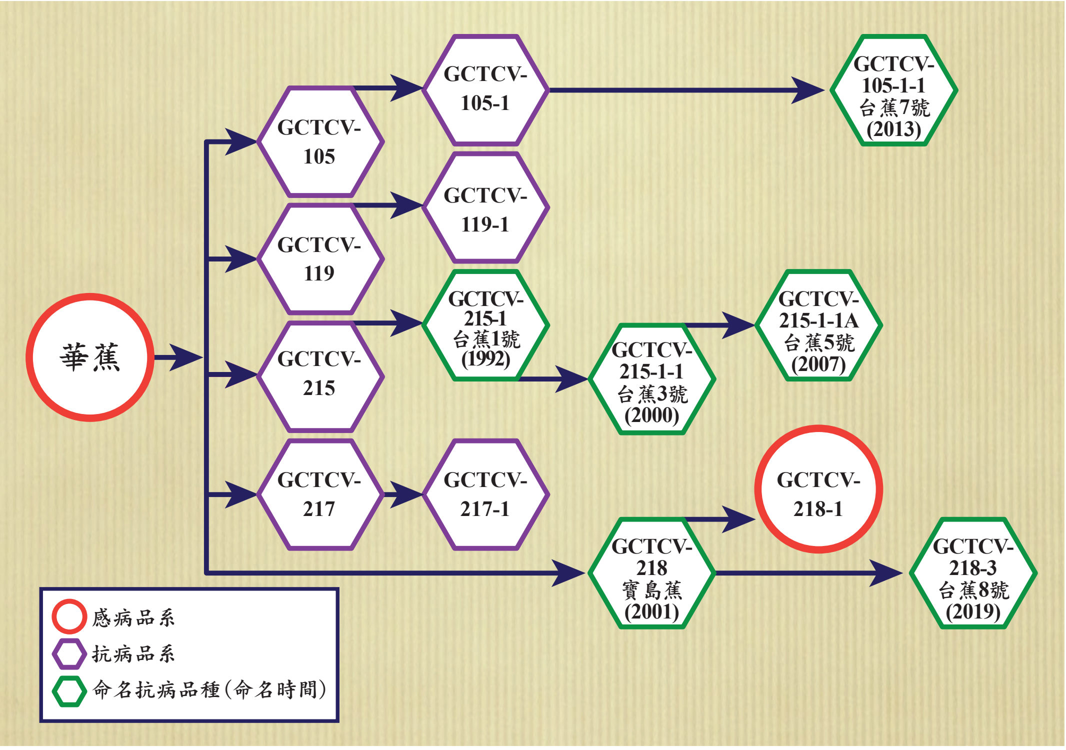

圖 4. 抗黃葉病華蕉變異株選育過程。

其他作物抗病品種的應用

一、鳳梨

以「台農 13 號」冬蜜，耐萎凋病 (*Pineapple wilt virus*, PWV)。

二、木瓜

「台農 1 號」與「台農 5 號」較耐木瓜輪點病 (*Papaya ringspot virus*, PRSV)。

三、甘蔗

甘蔗露菌病 (*Peronosclerospora sacchari*) 的防治最重要為抗病品種的育成，因本病原菌為絕對寄生菌，需設立測定病圃使其自然感染而淘汰感病品種。在病圃中常用五種對照品種，包括 PT43-52、H44-3098、F134、NCo310 及 F108，依序為易感、感病、中等、抗病及強抗品種。露菌病發病率受環境影響極大，所設立之對照品種發病率會因年度不同而有極大差異，因此甘蔗抗露菌病的品種篩選採取彈性淘汰的原則，通常參考對照品種中等抗病的 F134 發病率為準，當年度發病率比 F134 為高者，即為感病品種。

四、 玉米

食用玉米「台南 18 號」可抗露菌病 (*Peronosclerospora sacchari*)、銹病 (*Puccinia sorghi*)、莖腐病 (*Pythium aphanidermatum*) 及南方葉斑病 (*Cochliobolus heterostrophus*)，飼料玉米可抗露菌病的品種有「台南 16 號」、「台南 19 號」、「台南 20 號」、「台南 21 號」、「台農 2 號」及「台農 3 號」。抗銹病的品種有「台南 19 號」、「台南 20 號」、「台農 351 號」、「台農 1 號」及「台農 2 號」。抗莖腐病的品種有「台南 17 號」、「台南 19 號」及「台南 20 號」。

五、大豆

大豆抗病育種主要以抗露菌病 (*Peronospora manchurica*)、銹病 (*Phakopsora pachyrhizi*) 及細菌性斑點病 (*Xanthomonas campestris* pv.

phaseoli) 為主。「台南二號」對露菌病的抵抗力佳，對銹病及細菌性斑點病也有中抗級抗性。「台南 5 號」對露菌病屬中抗級，「高雄選九號」則對露菌病有中抗的表現。

六、山葵

「台農 1 號」具生長速度快、葉柄稍具甜味，又具較抗白銹病 (*Albugo wasabiae*)、黑斑病 (*Phoma wasabi*) 及耐高溫等特性。

尖鐮孢病菌的抗病根砧

一、西瓜蔓割病防治用根砧

西瓜 (*Citrullus lanatus*) 受到西瓜蔓割病菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*) 的感染會發生西瓜蔓割病，主要危害瓜藤與根部。罹病株初期會在白天發生地上部半側萎凋的病徵，但晚上可恢復，繼之全株萎凋與死亡。切開莖部組織可發現維管束褐化枯死，地下部細根腐爛，僅剩主根，其維管束亦有褐化病徵。發病期間，莖蔓有裂開的病徵表現，稱之為「蔓割」。西瓜蔓割病菌具有寄主專一性的特性，因此可以將西瓜嫁接至其他葫蘆科作物上，可有效的防治西瓜蔓割病，其中以蒲瓜 (*Lagenaria siceraria*) 根砧的使用最為頻繁。目前日本與韓國約有 90% 以上的露地與溫室西瓜栽培田使用西瓜嫁接苗，而臺灣約有 90% 以上之西瓜栽培田，都種植以南瓜 (*Cucurbita moschata*) 或蒲瓜根砧之西瓜頂劈嫁接苗或插接苗。嫁接蒲瓜與南瓜根砧可以防治西瓜蔓割病屬於非寄主 (non-host) 的根砧效應影響，將西瓜品種「Tri-X 313」 (*C. lanatus* var. *lanatus*) 嫁接到種間雜交南瓜 (*C. moschata* × *C. maxima*) 根砧品種「Shintosa Camel」與「Strong Tosa」，以及蒲瓜根砧品種「Emphasis」、「Macis」與「WMXP3945」上，該些嫁接苗在田間皆可

成功防治西瓜蔓割病的發生。

目前西瓜蔓割病菌有 race 0、1、2 與 3 的分化，也就是說在田間栽種的西瓜品種，對於不同生理小種的西瓜蔓割病菌存在有寄主抗性，例如西瓜品種「Calhoun」與「Summit」對於西瓜蔓割病菌 race 1 即具有抗病性。三倍體無子西瓜品種「Fascination」是一個豐產的品種，對西瓜蔓割病菌 race 1 具有抗病性，但對 race 2 則為感病性。由於西瓜蔓割病菌 race 2 的危害在美國與世界各地迅速蔓延，導致「Fascination」的種植日益困難，特別是在美國東南部各洲，該些栽培地區的田間土壤普遍存在有西瓜蔓割病菌 race 1 與 race 2。利用「Fascination」當接穗，蒲瓜品種「Macis」與「Emphasis」、南瓜品種「Strong Tosa」與「Carnivor」當根砧，嫁接株可於田間成功防治西瓜蔓割病菌 race 2 危害「Fascination」，而且嫁接株亦能生產具有市場價值的果實。然而西瓜嫁接南瓜或蒲瓜根砧後，雖可以達到病害防治的效果，但是一般認為會降低果實的品質。

二、苦瓜萎凋病防治用根砧

苦瓜萎凋病係由病原真菌 *F. oxysporum* f. sp. *momordicae* 所引起，苦瓜 (*Momordica charantia*) 罹病株在初期會顯現半側萎凋，進而維管束褐化、葉片黃化，終至全株萎凋等病徵，使得苦瓜栽培期縮短、產量降低，甚至無收穫。同樣的，利用尖鐮胞菌具有寄主專一性，以嫁接非寄主的根砧效應影響亦可以防治苦瓜萎凋病。在溫室的接種試驗中，苦瓜萎凋病菌僅能危害苦瓜與矮南瓜，不能危害其他瓜類作物。在根砧篩選試驗中，南瓜、扁蒲和絲瓜皆可與苦瓜嫁接而成活，但以絲瓜為根砧的苦瓜嫁接苗，不但成活率高，而且在田間對苦瓜萎凋病菌表現極佳的抵抗性。採用頂劈長筒型絲瓜「L39」地方品系嫁接苦瓜蔓穗「農友新 3 號」品種的組合，在田間種植的產量高達 61–108 公

噸/公頃；一般來自實生苗和舌狀根靠接苗的苦瓜因萎凋病的危害，產量則介於 0–24 公噸/公頃。採用頂劈長筒型絲瓜嫁接苦瓜蔓穗的組合，將苦瓜的根系與帶菌土壤隔離，使苦瓜萎凋病原菌無法侵入感染苦瓜組織，而達到防病的效果。但是若採用舌狀根靠接苗，則嫁接株同時會有兩個根系，包括絲瓜與苦瓜，雖然絲瓜根系不會遭受苦瓜萎凋病的感染，但是苦瓜萎凋病菌會由苦瓜根系侵入，再延維管束蔓延至地上部，導致嫁接株發病死亡。

三、絲瓜萎凋病防治用根砧

南投縣埔里地區農民栽種的圓筒型「白絲瓜」 (*Luffa cylindrical*) 發生嚴重絲瓜萎凋病，由病原真菌 *F. oxysporum* f. sp. *luffae* 所引起。農民於二月上旬，將 「白絲瓜」苗移植於本田，罹病苗在此期間即會表現生長不良、葉片伸展不開、植株矮化，或者根部與莖部維管束褐化後轉黑褐化及植株一側萎凋等病徵，病苗於 2 週內快速死亡。初期未表現猝倒的植株，會有 1 至數條根系受害，中午蒸散作用旺盛時，有暫時萎凋的現象，進而葉片一側黃化，莖部與維管束褐化及植株一側萎凋，病株於一個月內死亡。成株罹病初期僅有 1–2 條主根或部分支根的維管束黑褐化，病徵向莖部蔓延，每當褐化維管束向上越過一個莖節，褐化的維管束數目便會增多，約通過 3–4 個莖節後，莖蔓即表現半側褐化，終至有外部「蔓割」的病徵。田間調查指出個別田的發病率可達 40–60%，甚至有達 95% 而廢耕者。在臺灣，絲瓜的品種/系繁多，而且農家多會自行雜交留種，以致地方品系更加複雜。埔里地區所栽種的非白絲瓜系統之圓筒型絲瓜「七美」與「東光 3 號」，以及在同一塊田和白絲瓜輪替種植的稜角絲瓜「三福」，當「白絲瓜」嚴重發生絲瓜萎凋病時，這些「非白絲瓜」卻皆未發生絲瓜萎凋病。換句話說，「白絲瓜」萎凋病菌菌株在田間 (自然條件下) 似有非常明顯的寄主專一性，只會感染「白絲瓜」。

絲瓜萎凋病菌可能具有生理小種的分化，可以考量以絲瓜共砧的方式，利用頂劈嫁接，搭配割裂根靠接與割裂靠接的方式在田間防治絲瓜萎凋病。利用圓筒型「白絲瓜」為接穗，圓筒型「旗山長種 1 號」絲瓜、「L-4」、「L-39」、「L-49」可以減少絲瓜萎凋病的發生。農民自行留種的地方品系絲瓜，雖然初期在田間能對絲瓜萎凋病表現抗病性，但是非屬純系的絲瓜，以及蟲媒花可異花授粉，漸漸的這些地方品系對絲瓜萎凋病的抗病性則越來越不明顯。若以稜角絲瓜「美菱」為根砧，「白絲瓜」為接穗，則嫁接株皆不發生萎凋病。然而，「美菱」為根砧者的生長期較短，反而有產量低，甚至到栽培後期會出現砧負的現象。

四、番茄萎凋病防治用根砧

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 同樣有受到尖鐮胞菌 (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*) 的危害而引起番茄萎凋病，依嫁接親和性的考量，在番茄的嫁接上多以茄科或不同品種番茄共砧，以套接方式進行，屬於耐病根砧的應用。將對番茄萎凋病感病的番茄品種「German Johnson」嫁接抗/耐病根砧番茄品種「Maxifort」與「Robusta」後，嫁接株的番茄萎凋病發病率僅有 0% 與 29%，對照組 (感病品種本身當根砧) 的發病率則達 100%。在墨西哥則是利用番茄品種「Vigostar」、「Aloha」與「RT-160961」當根砧，經種植 5 個月後嫁接株分別可減 90%、92% 與 94% 番茄萎凋病的發生。雖然利用嫁接技術可以防治番茄萎凋病，但是會有產量不穩定的情況發生。

另外，番茄也常受到另一尖鐮胞菌 *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* (FORL) 的感染而造成番茄根冠腐病，嫁接亦可用於防治本病害。以「Costoluto Genovese」與「Kadima」品種當接穗，以「Cuore di Bue」與「Natalia」當根砧，所製作之四種嫁接組合嫁接株再分別接種 FORL，結果僅「Costoluto Genovese」接穗與「Cuore di Bue」根砧組合

的嫁接株出現感病性，其他三種嫁接株皆表現耐病性。嫁接株會因為選用根砧與接穗品種的組合不同，而表現根砧效應或接穗效應，使嫁接株在抗病性或耐病性表現出不一樣的可變性。

洋香瓜黑點根腐病的防治根砧

洋香瓜黑點根腐病係由子囊真菌 *Monosporascus cannonballus* 引起，洋香瓜受感染初期，地下部主根和側根會出現褐化小病斑，漸漸的擴展癒合成壞疽斑，壞疽斑散生，常出現於根分支處，最後產生根腐。將植株自土壤中拔起時，罹病根系大都脫落。當發生根腐的根部無法吸收足夠供應植株生長所需的水分時，特別是在果實肥大成熟期 (約採收前 10−14 天)，植株地上部葉片便產生「突發性的急速萎凋」導致罹病株死亡，其所產生的果實因含糖量低而風味不佳，因而失去商品價值。罹病株在果實採收或植株死亡之後，會在罹病根表皮上產生該病原菌的子囊殼。然而本病害發病初期，不會產生地上部病徵，因此常被忽略與難以診斷。

在溫室有用南瓜與蒲瓜為根砧、採用 1：1 頂劈嫁接法來防治洋香瓜黑點根腐病，雖然所選用的根砧亦會受到黑點根腐病菌的侵入與感染，但是嫁接株根砧有較旺盛的根系發展，黑點根腐病在該些嫁接株根部表現出較緩慢的病勢發展，因此在防治洋香瓜黑點根腐病上具有相當高的潛力。然而洋香瓜果實屬於鮮食類，消費大眾喜歡洋香瓜獨有的風味、香味與口感，以 1：1 頂劈嫁接法所製作的嫁接株，嫁接株根系僅有根砧植株的根系，嫁接後 (以南瓜、蒲瓜當根砧) 所產生的根砧效應，嚴重影響洋香瓜的風味、香味與口感，以致市場無法接受，甚至降低消費者購買洋香瓜的慾望。改善的策略則是可以考慮以不同的嫁接法來製作洋香瓜嫁接苗，包括割裂靠接法、割裂根靠接法與舌狀根靠接法等，並且

選用其他葫蘆科作物當根砧，包括蒲瓜、南瓜、冬瓜、絲瓜與西瓜等，在田間評估嫁接技術防治洋香瓜黑點根腐病的可行性。結果採用舌狀根靠接法所製作之嫁接株 (冬瓜或南瓜根砧)，在嫁接苗的培育與管理，以及所產洋香瓜果實的鮮食品質，皆優於其他供試的嫁接法。

番茄青枯病的防治用根砧

青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 經常危害茄科作物，屬細菌性維管束病害，在高溫、多濕環境下適宜發病。在番茄，病原細菌主要由根部傷口侵入植株，罹病株出現下位葉葉柄下垂，植株快速萎凋、死亡。利用番茄根砧品種「H-7996」與「Eg-203」嫁接接穗品種「Permata」、「Lentana」與「Fortuna」後接種青枯病菌，嫁接株一直要到接種後第 63 天才開始發病，相較於無嫁接實生苗在接種後第 21 天即開始發病。由此可知，選用適當的番茄品種當根砧，在青枯病的防治上可達程度不一的耐病效果。但是青枯病菌菌株間存在有多樣性，可能會因為病原菌存在的區域環境不同，而對相同的根砧番茄品種表現不同的致病能力。另外，不同根砧與接穗的組合，亦會因根砧效應或接穗效應的影響，而導致嫁接株抗病效果的不穩定。除了可用耐病番茄當根砧防治青枯病之外，亦有利用萬桃花 (*Solanum torvum*) 當根砧，如以茄科商業品種「Sanmarino」與「Kalenda」為接穗，萬桃花當根砧製作頂劈嫁接苗後，接種青枯病病菌 (race1 biovar 3)，結果嫁接株都不發病。由於番茄青枯病多發生於高溫多濕的環境，若能將番茄種植於低溫或高海拔的環境，則可減少番茄青枯病的發生。

嫁接在其他作物病害防治的應用

一、百香果頸腐病

百香果頸腐病由 *Nectria haematococca* 所引起，主要造成植株莖基部與地表交接處產生褐化之乾腐病徵，病原菌主要由傷口侵入。隨莖基部膨大，皮層會產生裂痕，嚴重時莖基部會出現環狀剝皮的病徵，造成植株萎凋。目前商業栽培品種以「台農 1 號」 (*P. edulis* × *P. edulis* f. *flavicarpa*) 為主，早年有栽培「紫百香果」 (*Passiflora edulis*) 與「黃百香果」 (*P. edulis* f. *flavicarpa*)。「紫百香果」易受到頸腐病菌的危害，而「黃百香果」則對頸腐病菌具有抗性，因此商業化的百香果苗均以黃色種作為砧木，利用頂劈接嫁接「台農 1 號」百香果接穗。目前已有百香果種苗嫁接機可供製作嫁接苗使用，該嫁接機主要包括接穗切削裝置、砧木苗處理裝置、插接機構、氣壓動力控制組件、嫁接夾設計製作、嫁接夾整列篩選供給裝置等。該嫁接機理論作業能量為 199.5 株/小時，實際作業能量為 114 株/小時，嫁接成功比例為 70%，嫁接成活比例為 96%。

二、疫病

柑橘 (*Citrus* spp.) 為世界上產量第一的果樹，年產量超過 1 兆噸。柑橘裙腐病主要發生在靠近地面 45 cm 以下，罹病部位出現表皮凹陷、龜裂，伴隨有流膠。將罹病部位之樹皮切開後，可見組織軟化與褐變，上方之枝葉則出現黃化與萎凋，待罹病部位環繞樹幹，則全株立即死亡，病原菌主要包括 *Phytophthora nicotianae*、*P. palmivora* 與 *P. citrophthora*。本病害已有許多非農藥防治的有效防治方法，包括生物防治、栽培防治及抑病土壤，但由於柑橘種類繁多，為增加不同種類柑橘對栽培地區之風土適應性，及產量與品質的提升，商業上多以合接法製作嫁接苗販售。因此，嫁接時應避免使用對疫病感病品種當根砧。篩選結果顯示大部分的市售柑橘品種對疫病菌皆表現感病性。對疫病菌表現

半耐病性的柑橘類作物有酸桔、廣東檸檬等 ，經常用為根砧。

三、根瘤線蟲

美國佛羅里達的番茄 (*Solanum lycopersicum*) 常因根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.) 的危害，導致種植困難與產量不佳，利用嫁接抗病根砧則可減少植株根部的根瘤數與增加產量。將番茄品種「Brandywine」與「Flamme」嫁接至「Multifort」(*S. lycopersicum* × *S. habrochaites*) 與「Survivor」 (*S. lycopersicum*) 等根砧品種上，結果嫁接株根部的根瘤數與無嫁接株的相比，大約可減少 81–97% 的根瘤數。而利用嫁接根砧已可應用於防治番茄青枯病，若選用的根砧品種同時可對根瘤線蟲產生耐病或抗病性，則在番茄的田間栽培上可降低許多生產成本與防治成本。葫蘆科作物亦常遭受根瘤線蟲的危害，同樣也可以利用嫁接技術，將接穗嫁接至適當的根砧上，則可減少根部的根瘤數。將胡瓜 (Cucumis sativus) 品種「Adrian」接穗嫁接至美國南瓜 (*Cucurbita pepo*) 根砧品種「*Romanesco Zucchini*」 上，並種植於溫室中。定植 70 天後，實生株 75% 以上的根系皆有根瘤線蟲的根瘤產生，嫁接株則僅有 25–38% 根系有根瘤產生。

結語

作物的生物因子抗性可能隨著目標生物的族群變遷而發生改變，換言之，曾經喪失抗性的品種，若干年後亦可能因為品種輪替引起的田間病原族群消退而再恢復抗性。據此，在運用抗病品種進行田間病害管理的同時，除應明確釐清品種抗性成因、增加抗源歧異度外，更應持續監測田間有害生物病原型與生物小種的分布變遷，隨時針對害物動態進行相應抗性品種的機動性調整，以維護抗病品種與抗性基因的有效性、減

緩有害生物的變異速度。

在土壤傳播性病害的防治上，過去常利用土壤燻蒸法，基於環境保護的理由已有計畫性的被禁用，因此在作物病害防治上，則需找尋可行的替代方案。嫁接技術在亞洲地區已可應用於多種土壤傳播性病害的防治，對有機栽培來說，嫁接技術也是一個非常有效的，可防治作物萎凋病的防治技術。而近年來抗/耐病根砧品種取得日益方便，以及高效率嫁接技術的發展，使得嫁接技術在世界各地的應用越來越普及，在中國估計有 40% 的西瓜、20% 的甜瓜、30% 的胡瓜、15% 的茄子、1% 番茄與 1% 的辣椒採用嫁接苗。由於嫁接主要在防治多種土壤傳播性病害，令人擔心的是，未來對於嫁接的需求如果持續增加，因根砧效應將會導致土壤中微生物環境的改變，如根分泌物的變化。所延伸的問題可能是新病害的發生與病原微生物族群數量的改變，因此嫁接後對於土壤微生物族群變化的監測則顯得格外的重要。使用扁蒲根砧可成功防治西瓜蔓割病，但日本在使用 30 年後，嫁接扁蒲根砧的陸續出現急性萎凋的病徵，經試驗證明為病原菌 *F. oxysporum* f. sp. *lagenariae* 所引起之扁蒲萎凋病。於是改用南瓜為根砧，卻也同樣發生該扁蒲型的萎凋病，再次改用冬瓜根砧亦被該扁蒲型的萎凋病與西瓜蔓割病菌所感染，使用扁蒲砧嫁接西瓜亦會發生由 *Monosporascus cannonballus* 所引起的黑點根腐病。此外，苦瓜-絲瓜嫁接苗容易產生由 *Alternaria alternata* f. sp. *cucurbitae* 所引起的苗枯病，以及由 *Rhizoctonia solani* 所引起的立枯病和因高溫所造成的嫁接苗日燒症，此三種病害甚少在苦瓜實生苗上發生。

另外，所謂嫁接乃是將兩個或以上的獨立植株個體，分別切取部分組織部位，將其在維管束組織部位組合，當該處癒合後成為一單獨的植株個體，即為嫁接株。該組合當作地下部組織者稱為根砧，當作地上部組織者稱為接穗，當根砧與接穗癒合不完全時，便會出現所謂的嫁接不親和。在果樹上的嫁接不親和可區分為四種類型，包括 (1) 遺傳性不親

和，代表根砧與接穗親緣性越遠者，嫁接越不容易成功；(2) 生理性不親和，代表根砧與接穗間的生長環境差異過大者，越不容易成功；(3) 嫁接處結構脆弱，因形成層只形成薄壁細胞，纖維形成的數目很少，使嫁接處無法緊密結合；(4) 病原菌所導致的不親和，大部分由病毒感染所造成。而嫁接不親和常見徵狀有 (1) 嫁接處無法癒合；(2) 嫁接後生育遲緩，定植後死亡；(3) 嫁接時正常生長，定植後慢慢黃化凋死亡，以及 (4) 嫁接時及定植後皆生長正常，但氣候條件變化較大時，在著果前迅速萎凋死亡。嫁接不親和的原因，主要因接穗與砧木二者間遺傳差異，造成穗砧在生長上或生理生化上有所不同所致。利用植物解剖的方式觀察番茄/辣椒 (接穗/根砧) 或辣椒/番茄嫁接組合發生不親和的情形，發現嫁接處的維管束出現嚴重的不連續性，阻礙了礦物元素與水分在根砧與接穗之間的運輸，最後導致嫁接株產量減少與品質不好。然而嫁接不親和性牽涉複雜的植物生理、生化與組織結構改變等問題，目前尚無較為合適的理論可以完全解釋各種嫁接不親和現象產生的原因與機制。

參考文獻

1. 林益昇、黃家興、宋曉清。1998。 苦瓜-絲瓜嫁接株對苦瓜萎凋病菌之抵抗性及其產量。植保會刊 40: 121-132。
2. 林益昇、黃家興、郭孟祥。1996。台灣苦瓜萎凋病之發生與傳播。植病會刊 5:38-46。
3. 林益昇、蘇俊峯、黃國修。2004。瓜類作物萎凋病和黑點根腐病之嫁接防治。119-136 頁。2004 果菜健康管理研討會專集。楊秀珠、林信山主編。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印，台中。236 頁。
4. 陳隆澤、黃守宏、鄭清煥。2009。水稻病蟲害抗性檢定工作回顧。p.83–103。臺灣水稻保護成果及新展望研討會。行政院農業委員會農業試驗所。
5. 黃新川、柯文雄。1988。抗香蕉黃葉病之華蕉變異株系。植物保護學會刊 30:

386–392。

6. 歐世璜、簡錦忠、曾東海。1983。抗稻熱病育種的新抗源。植物保護學會會刊 25:115–123。
7. 蘇俊峯、林益昇。2008。利用嫁接技術防治洋香瓜黑點根腐病。植病會刊 17:35-41。
8. 蘇俊峯、黃國修、林益昇。2001。洋香瓜黑點根腐病之嫁接防治。植病會刊 10：205。
9. Andrews, P. K., and Marquez, C. S. 1993. Graft incompatibility. Hort. Rev. 15:183–232.
10. Chen, Y. N., Chen, M. C., and Chen, P. C. 2020. Pathogen diversity and inoculum source of rice blast disease in Taiwan. *In*: Applicable Solutions Against Rice Blast in Asia, Y. FUKUTA (Ed.). JIRCAS-FFTC, Videoconference, Tsukuba, Japan. 93 pp.
11. Collard, B. C. Y., Vera Cruz, C. M., McNally, K. L., Virk, P. S., and Mackill, D. J. 2008. Rice molecular breeding laboratories in the genomics era: Current status and future considerations. Int. J. Plant Genom. 2008:524847. 10.1155/2008/524847
12. Hwang, S. H., and Ko, W. H. 2004. Cavendish banana cultivars resistant to Fusarium wilt acquired through Somaclonal variation in Taiwan. Plant Dis. 88: 580−588.
13. Lee, J. J., Lin, S., Ju, J. S., and Huang, Y. I. 2001. Development of an automatic grafting machine for propagating passion fruits. J. Agri. & Fore. 50:1–14.
14. Lin, H. Y., Wu, Y. P., Hour, A. l., Ho, S. W. Wei, F., Hsing, Y., and Lin, Y. 2012. Genetic diversity of rice germplasm used in Taiwan breeding programs. Botanical Studies 53:363−376.